



CURSO DE ENGENHERIA CIVIL

IVANA LÚCIA BRITO LIMA

**MANUAL DE BOAS PRÁTICAS PARA RECUPERAÇÃO
ESTRUTURAL EM PEÇAS SUBMETIDAS À CORROSÃO**

FORTALEZA

2020

IVANA LÚCIA BRITO LIMA

**MANUAL DE BOAS PRÁTICAS PARA RECUPERAÇÃO
ESTRUTURAL EM PEÇAS SUBMETIDAS À CORROSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Civil da
Faculdade Ari de Sá.

Orientador: Prof. Prof. Me.
Leonardo Tavares de Souza

Co-orientador: Prof. Me. Ésio
Magalhães Feitosa Lima.

FORTALEZA

2020

Folha destinada à inclusão da **Ficha Catalográfica** a ser solicitada à Biblioteca da FAS e posteriormente impressa no verso da Folha de Rosto (folha anterior).

Espaço destinado à elaboração da ficha catalográfica sob
responsabilidade da Faculdade Ari de Sá.

IVANA LÚCIA BRITO LIMA

**MANUAL DE BOAS PRÁTICAS PARA RECUPERAÇÃO
ESTRUTURAL EM PEÇAS SUBMETIDAS À CORROSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Civil da
Faculdade Ari de Sá.

Orientador: Prof. Prof. Me.
Leonardo Tavares de Souza

Co-orientador: Prof. Me. Ésio
Magalhães Feitosa Lima.

Aprovada em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Leonardo Tavares de Souza
Faculdade Ari de Sá

Prof. Me. Ésio Magalhães Feitosa Lima.
Faculdade Ari de Sá

Prof. Me. Paulo de Souza Tavares Miranda
Instituto Federal do Ceará

Prof. Me. Francisca Lilian Cruz Brasileiro

Faculdade Ari de Sá

Dedico este trabalho a meus pais,
Lúcia e Ivan, pelo amor incondicional e total
apoio à minha busca por meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pois ele esteve presente em todos os momentos desta jornada.

À minha Mãe pelo exemplo de determinação na vida e fé inabalável, sempre mostrando o caminho certo a seguir.

Ao meu pai pelo apoio incondicional e por sempre acreditar em mim.

À minha avó por sempre me colocar em suas orações, por cuidar de mim e me dar todo apoio.

À toda minha família, que sempre incentivaram meus estudos e darem todo o apoio de que eu precisava para chegar até aqui.

A Deborah, amiga que a faculdade me deu, por ter estado ao meu lado desde o início desta jornada, sempre apoiando e ter estado comigo em todos os momentos.

Nossas dúvidas são traidoras e nos
fazem perder o que, com frequência,
poderíamos ganhar, por simples medo de
arriscar. (William Shakespeare).

RESUMO

A corrosão de armaduras é uma manifestação patológica que compromete a durabilidade e o desempenho da edificação. O presente trabalho aborda as atividades relacionadas à recuperação estrutural em peças submetidas à corrosão como, vigas, pilares, lajes e reservatórios, com o objetivo de fazer o reconhecimento da manifestação patológica causada pela mesma, que podem surgir por fatores variados como má execução da obra, faltam de manutenção, erro de projeto, entre outros, identificar meios de tratamento para armaduras que apresentam a corrosão e apontar técnicas de prevenção e manutenção aplicadas em peças de armaduras que estão em processo de corrosão para essas estruturas que estão comprometidas. Mesmo com os avanços tecnológicos, a manifestação patológica continua presente gerando danos a vida útil da edificação. As etapas básicas da recuperação e reparo de estruturas com corrosão de armaduras são: inspeção preliminar, inspeção detalhada, delimitação da área, remoção do material deteriorado, limpeza, revestimento da armadura, recomposição da estrutura e revestimento da estrutura. Observou-se que o tempo entre a identificação do problema e a intervenção corretiva é determinante na complexidade do procedimento adotado para a recuperação, sendo necessário que seja realizada a manutenção imediata após o dano ser identificado e o reparo precisa ser efetivo e não apenas estético para que não comprometa período de vida útil residual, garantindo que a estrutura ainda conseguirá exercer sua função.

Palavras-chave: Corrosão de armaduras. Manifestação patológica. Recuperação estrutural. Manutenção. Avanço tecnológico.

ABSTRACT

Armor corrosion is a pathological manifestation that compromises the building's durability and performance. The present work addresses the activities related to structural recovery in parts subjected to corrosion, such as beams, columns, slabs and reservoirs, with the objective of recognizing the pathological manifestation caused by it, which can arise from various factors such as poor execution of the work, lack of maintenance, design error, among others, identify means of treatment for reinforcement that presents corrosion and point out prevention and maintenance techniques applied to reinforcement parts that are in the process of corrosion for those structures that are compromised. Even with technological advances, the pathological manifestation remains present, causing damage to the building's useful life. The basic steps for the recovery and repair of structures with corrosion of armatures are: preliminary inspection, detailed inspection, delimitation of the area, removal of deteriorated material, cleaning, reinforcement lining, restoration of the structure and structure lining. It was observed that the time between the identification of the problem and the corrective intervention is decisive in the complexity of the procedure adopted for the recovery, requiring immediate maintenance to be carried out after the damage is identified and the repair needs to be effective and not only aesthetic for that does not compromise the residual useful life period, ensuring that the structure will still be able to perform its function.

Keywords: Reinforcement corrosion. Pathological manifestation. Structural recovery. Maintenance. Technological progress.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Pilar com armadura exposta.....	16
Figura 02 – Corrosão por pilha no mesmo metal.....	18
Figura 03 - Esquema simplificado de carbonatação.....	19
Figura 04: Deterioração progressiva devida à corrosão das armaduras.....	20
Figura 05: Deslocamento da viga.....	24
Figura 06: Figura 06: Trinca na linha da armadura devido à corrosão.....	24
Figura 07: Deslocamento da Laje.....	25
Figura 08: deterioração da laje de fundo e paredes do reservatório.....	25
Figura 09: Fluxograma genérico para a diagnose de uma estrutura.....	26
Figura 10: Delimitação da área a recuperar.....	27
Figura 11: Delimitação da área.....	27
Figura 12: Corte para localização das armaduras corroídas.....	28
Figura 13: Fluxograma do processo de delimitação do contorno de reparo.....	28
Figura 14: Apicoamento mecânico.....	29
Figura 15: Apicoamento manual.....	29
Figura 16: Escarificação da Viga	30
Figura 17: Remoção do concreto com o uso de martelo e talhadeira.....	30
Figura 18: Escarificação da Laje.....	31
Figura 19: Procedimentos básicos para limpeza dos componentes do concreto armado.....	32
Figura 20: Limpeza com escova de aço.....	32
Figura 21: Remoção de produtos de corrosão com lixadeira elétrica.....	32
Figura 22: Limpeza de superfícies por aplicação de jatos de areia.....	33
Figura 23: Proteção da armadura com pintura.....	34
Figura 24: Aplicação de argamassa polimérica.....	34
Figura 25: Fôrma fixada com parabolts.....	35
Figura 26: Viga Grauteada.....	35
Figura 27: Encamisamento do Pilar.....	36
Figura 28: Reparo Concluído.....	37
Figura 29: Laje Recuperada.....	38

LISTA DE SIGLAS

IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
SO ₂	Dióxido de Enxofre
H ₂ S	Sulfeto de hidrogênio
CaCO ₃	Carbonato de Cálcio
CO ₂	Gás Carbônico
NBR	Norma Brasileira

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVOS GERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	14
3 DESENVOLVIMENTO	15
3.1 CORROSÃO.....	15
3.2 FATORES QUE PROVOCAM A CORROSÃO NAS ARMADURAS....	16
3.2.1 Corrosão em Meio Aquoso.....	16
3.2.2 Ação Dos Cloretos.....	18
3.2.3 Carbonatação.....	19
3.3 SINTOMAS.....	20
3.4 ALTERNATIVAS DE RECUPERAÇÃO.....	21
4 METODOLOGIA	23
4.1 MÉTODO ADOTADO.....	22
4.1.2 Revisão Bibliográfica.....	22
5 PROCEDIMENTO DE RECUPERAÇÃO DE ELEMENTOS	24
5.1 INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO.....	24
5.2 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE REPARO.....	27
5.3 PREPARO DO SUBSTRATO.....	29
5.4 LIMPEZA.....	31
5.5 COMBATE A CORROSÃO.....	33
5.6 RECOMPOSIÇÃO DA ESTRUTURA.....	35
5.7 PROTEÇÃO DA SUPERFÍCIE DE CONCRETO.....	36
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS/CONCLUSÕES	39
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	40
REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos que abrangem a construção civil estão relacionadas a busca de melhor comodidade e eficiência, que aumenta em proporção com o uso de processos inovadores. O maquinário consegue produzir em larga escala e arduamente, isso implica na qualidade da execução. Apesar desses avanços envolvidos na construção civil, as manifestações patológicas ainda estarão presentes, já que a vida útil de uma construção não é eterna, sendo necessários reparos e manutenções. O melhor que se pode ser feito é prolongar a vida útil da construção com a periodicidade das manutenções.

Segundo Capello *et al.* (2010), a origem das manifestações patológicas pode ocorrer: da falta de controle tecnológico, principalmente relacionado ao concreto, da má qualidade dos materiais empregados na construção de projetos mal feitos, da falha na etapa de construção, equipe sem preparação para execução de projetos mais elaborados, falta de fiscalização por parte dos gestores ou responsáveis pela execução do empreendimento, e a falta de manutenção. Assim, inúmeras são as manifestações patológicas na construção civil.

Segundo o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), a corrosão nas armaduras de concreto é uma das manifestações patológicas mais frequentes das edificações, principalmente quando submetidas a ambientes agressivos como em ambientes próximos ao mar. Como por exemplo a Praia do Futuro em Fortaleza, seu ar atmosférico é bastante agressivo, pois a água do mar de Fortaleza é de grande salinidade. O aumento do volume das armaduras que sofreram corrosão pode determinar o fissuramento do concreto e até seu deslocamento fazendo com que sua armadura fique exposta ao ambiente. A corrosão de armadura no concreto armado é um fenômeno que só acontece quando as condições de proteção proporcionadas pelo cobrimento desse concreto são insuficientes.

A escolha do tema se justifica pela necessidade de conhecimento sobre as causas das manifestações patológicas que ocasionam corrosão e oxidação em vigas, lajes, pilares e reservatórios das armaduras nas estruturas de concreto, pela deficiência de formação e preparo de profissionais nos diferentes níveis que atuam na área de construção civil e pelas consequências causadas nas edificações.

2 OBJETIVOS

Os objetivos que orientam o presente estudo são:

2.1 OBJETIVO GERAL

Identificar problemas de corrosão em vigas, lajes, pilares e reservatórios e propor um guia de passo a passo para solucionar essas manifestações patológicas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- * Fazer o reconhecimento de uma manifestação patológica que seja causada por corrosão;
- * Identificar meios de tratamento para armaduras que apresentam a corrosão;
- * Apontar técnicas de prevenção e manutenção aplicadas em peças de armaduras que estão em processo de corrosão;

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 CORROSÃO

Segundo panossian (1993), “a corrosão é a transformação de um material pela sua interação química ou eletroquímica com o meio em que se encontra”.

Essa transformação define corrosão como a interação de um material com o ambiente seja por reação química, ou eletroquímica. Essencialmente, são dois os principais processos de corrosão que as armaduras de aço podem sofrer: a oxidação e a corrosão propriamente dita.

Por oxidação entende-se o ataque provocado por uma reação gás-metal, com formação de uma película de óxido. Este tipo de corrosão é extremamente lento à temperatura ambiente e não provoca deterioração substancial das superfícies metálicas, salvo se existirem gases extremamente agressivos na atmosfera. (junior, 2008, p. 02).

“a corrosão metálica é um processo eletroquímico que tem lugar no meio aquoso. A corrosão acontece quando é formada uma película de eletrólito sobre a superfície dos fios ou barras de aço”. (cascudo, 1997).

Segundo o mesmo autor, esse tipo de corrosão é decorrente da inserção de um metal em um eletrólito, que consiste em uma solução condutora que envolve áreas anódicas e catódicas ao mesmo tempo. Contudo, vale salientar que os potenciais que equilibram os eletrólitos quando ali estão imersos mais de um metal, tornam-se divergentes, uma vez que se encontram operantes pelo mesmo condutor.

A degeneração do material retrata alterações prejudiciais indesejáveis, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, fazendo - se inadequado para o uso. A corrosão é um processo espontâneo, ela repetidamente transforma os materiais metálicos de modo que a durabilidade e desempenho dos mesmos deixem de satisfazer os fins a que se destinam (gentil, 1996).

Figura 01: Pilar com armadura exposta



Fonte: Revista Técnica (2015)

3.2 FATORES QUE PROVOCAM A CORROSÃO NAS ARMADURAS

Segundo as literaturas utilizadas, os fatores predominantes que provocam a corrosão das armaduras são pelo meio aquoso, pela ação dos cloretos e pela carbonatação (HELENE, 1986 e CASCUDO, 1997).

3.2.1 Corrosão Em Meio Aquoso

De acordo com Helene (1986), o procedimento de corrosão do aço no concreto é eletroquímico, como na maioria das reações corrosivas em presença de água ou ambiente úmido. A influência da umidade na ação corrosiva da atmosfera é intensa. O ferro em atmosfera de baixa umidade relativa praticamente não sofre corrosão, já em umidade acima de 70% o processo se torna acelerado (GENTIL, 1996).

Este tipo de corrosão aquosa conduz à formação de óxidos e hidróxidos de ferro, de cor avermelhada, pulverulentos e porosos, chamados ferrugem. E só ocorrem nas seguintes condições: existência de um eletrólito, diferença de potencial e presença de oxigênio.

O eletrólito tem a função de permitir a mobilidade de íons que precisa se combinar para formar os produtos da corrosão. E para ser um bom eletrólito, é necessário ser

formado pela solução aquosa dos poros do concreto saturada por produtos de hidratação (HELENE, 1986).

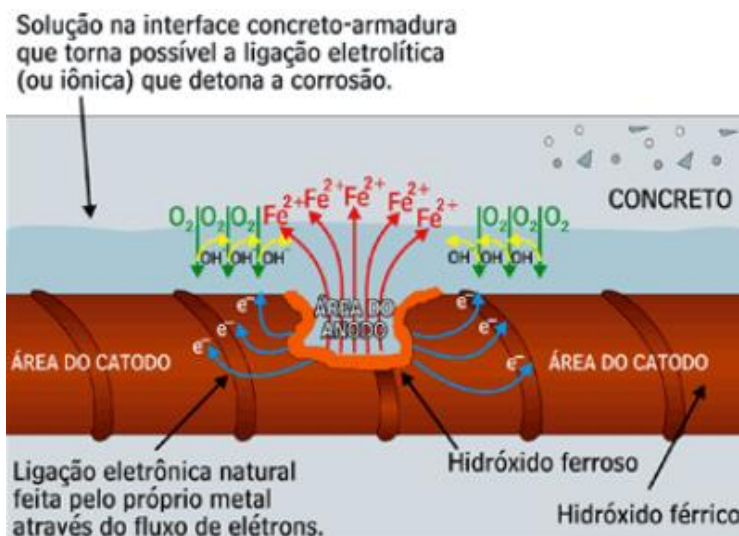
A diferença de potencial pode ser causada por vários fatores de acordo com as literaturas: concentração de salinas, diferenças de umidade, solicitações mecânicas distintas no concreto e aço, aeração, variações significativas nas características superficiais do aço, metais diferentes embutidos no concreto, entre outros. (HELENE, 1986).

Por fim, o oxigênio é necessário porque faz parte das reações químicas envolvidas na formação da ferrugem (óxidos e hidróxidos de ferro) e sua participação depende do teor de umidade do concreto (FRANCO,2011).

O procedimento de corrosão eletroquímica propicia a construção de pilhas eletroquímicas, que não necessita se estabelecer entre dois metais distintos em uma mesma solução, mas que podem acontecer também em regiões diferentes de um mesmo metal, como é o caso da armadura no interior do concreto (CASCUDO,1997). Uma pilha eletroquímica apresenta os subsequentes itens: ânodo: eletrodo onde ocorre a reação de oxidação e onde a corrente elétrica, na forma de íons metálicos positivos, entra no eletrólito; cátodo: eletrodo onde a corrente elétrica sai do eletrólito no qual as cargas negativas (elétrons) provocam reações de redução; eletrólito: condutor também chamado de ponte salina, que contém íons que transportam a corrente elétrica do ânodo para o cátodo; circuito metálico: ligação metálica entre o ânodo e o cátodo por onde escoam os elétrons, no sentido ânodo-cátodo (GENTIL, 1996).

Logo, tal procedimento promove a formação de pilhas, no qual pode se dar entre metais diferentes ou no mesmo metal Figura 02.

Figura 02: Corrosão por pilha num mesmo metal



Fonte: Rodrigues, (2001).

Qualquer diferença de potencial entre as zonas anódicas e catódicas ocasiona o surgimento de corrente elétrica. Assim, a corrosão pode ou não existir, dependendo do tamanho desta corrente e do livre acesso do oxigênio.

3.2.2 Ação Dos Cloretos

A quantidade de cloretos pode debilitar todo o exterior da armadura, sendo capaz de provocar velocidades de corrosão intensas e perigosas. Os cloretos podem estar no concreto por meio da presença dos componentes (aditivos, água e agregados) na mistura, ou por penetração, do exterior, através da rede de poros, como é o caso de ambientes marinhos (névoa salina). (FRANCO,2011).

A Praia do Futuro é a área com os maiores índices de deposição de cloreto entre algumas cidades brasileiras e estrangeiras, segundo o Estudo da Agressividade do Ar em Fortaleza, feita pela Universidade Federal do Ceará (UFC) em parceria com empresas da área de engenharia civil.

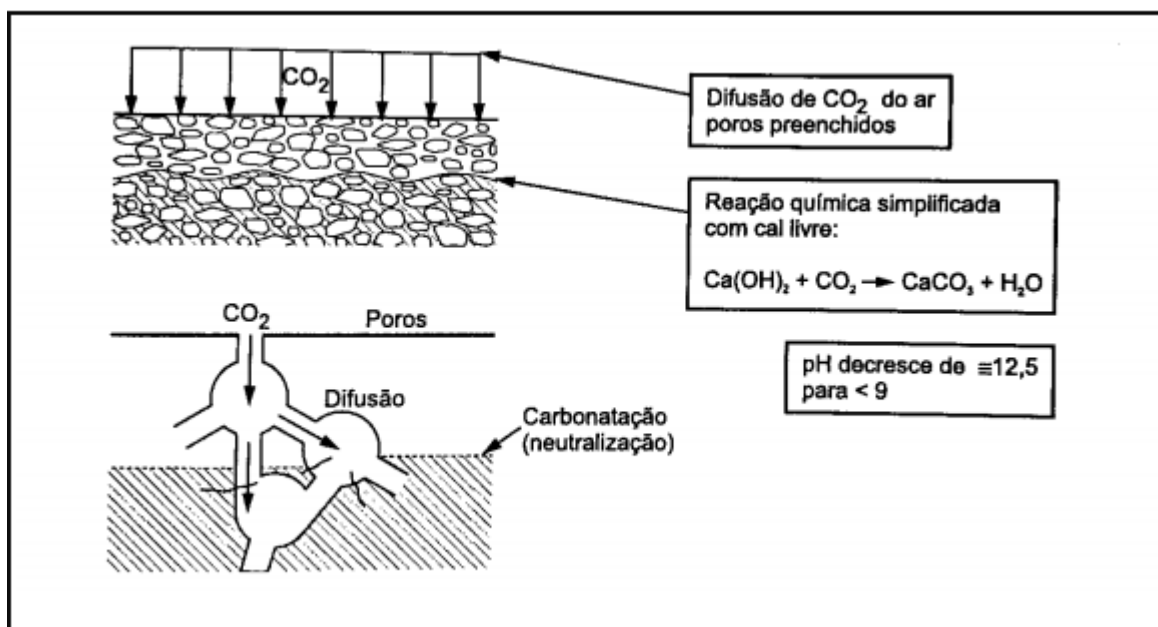
Segundo Cascudo (1997) pode-se afirmar que na maioria dos casos, os meios de transporte, que levam ao movimento e a concentração iônica dos cloretos no concreto, são a absorção capilar e a difusão iônica. A absorção capilar geralmente é o primeiro passo para a

penetração de íons de cloreto na superfície do concreto, onde um exemplo seria a névoa salina em contato com a estrutura. Já a difusão iônica é o mecanismo de transporte predominante dos cloretos dentro do concreto. E acontece devido a gradientes de concentração iônica, seja entre o meio externo e o interior do concreto, seja dentro do próprio concreto.

3.2.3 Carbonatação

A alta alcalinidade encontrada nas superfícies expostas do concreto, obtida na presença de hidróxido de cálcio liberado das reações de hidratação do cimento, pode ser reduzida com o tempo através da ação do gás carbônico do ar e outros gases ácidos como SO₂ e H₂S. Este processo é chamado de carbonatação e ocorre em uma velocidade lenta enfraquecendo-se com o tempo. Esta característica pode ser explicada pela hidratação crescente do cimento, além do carbonato de cálcio (CaCO₃). Geralmente, a carbonatação é uma condição fundamental para o início da corrosão das armaduras (CASCUDO, 1997).

A Figura 3: Esquema simplificado de carbonatação



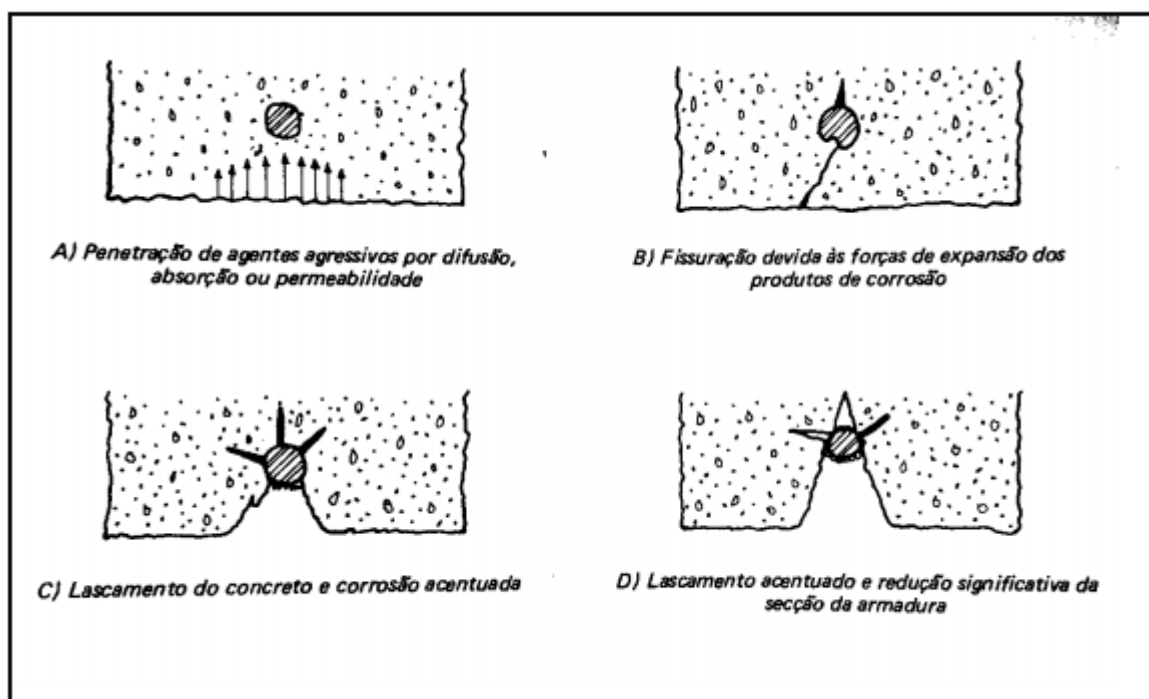
Fonte: CASCUDO (1997)

A carbonatação depende de fatores como: técnicas construtivas: transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto; condições ambientais, tipo de cimento; umidade do ambiente; e da relação água cimento (BAKKER,1988; FELIU,1988 e TUUTTI,1982).

3.3 SINTOMAS

Nas regiões em que o concreto não é adequado, ou recobre deficientemente a armadura, a corrosão acaba se tornando contínua com a consequente formação de óxi-hidróxidos de ferro, que passam ocupar volumes de 3 a 10 vezes superiores ao volume original do aço da armadura, podendo causar pressões de expansão superiores a 15 MPa (CÁNOVAS, 1988).

Figura 4: Deterioração progressiva devida à corrosão das armaduras



Fonte: HELENE, (1986)

Com estas tensões, surge fissuração do concreto na direção paralela à armadura corroída, o que facilita o surgimento da carbonatação e a penetração de gás carbônico (CO₂) e agentes agressivos, podendo ainda causar lascamento no concreto. Normalmente em estribos é notado o lascamento direto no concreto, sem fissuras iniciais. Outro sintoma comum são manchas marrom-avermelhadas na superfície do concreto e bordas das fissuras, completando o quadro patológico. (HELENE, 1986).

Em pior caso das condições construtivas, a corrosão iniciará nos locais mais quentes, úmidos e onde o risco de condensação seja maior. Este processo é naturalmente visível, onde a coloração vermelha-marrom-acastanhada é relativamente solúvel, “escorrendo” pela superfície do concreto, fazendo com que fique com manchas. O risco de corrosão também se intensifica em regiões angulosas, arestas e cantos da estrutura. É recomendado que seja feito cantos e arestas arredondados, com o intuito de aumentar o cobrimento em situações de agressividade elevada (CÁNOVAS, 1988).

3.4 ALTERNATIVAS DE RECUPERAÇÃO

A recuperação das armaduras, danificadas pela corrosão, é delicada segundo Helene (1986) e requer mão de obra especializada. Consiste em três etapas, sendo elas:

A etapa 1 é a limpeza rigorosa, de preferência com jato de areia e quebra de todo o concreto solto ou fissurado, inclusive das camadas de óxidos/hidróxidos das superfícies das barras. A etapa 2 é analisar rigorosamente se existe uma possível redução de seção transversal das armaduras atacadas. Se for viável, fazer esta análise através de ensaios comparativos entre armaduras saudáveis e as que estiverem mais atingidas. Se for o caso, colocar novos estribos e/ou novas armaduras longitudinais. Sempre que for empregado a solda, colocar eletrodos controlando o tempo e a temperatura para que não se tenha mudança da estrutura do aço, principalmente se for da classe B (deformados a frio). E a etapa 3 é reconstrução do cobrimento das armaduras de preferência com concreto bem adensado, com o intuito de impedir a penetração de umidade, oxigênio e agentes agressivos até a armadura, recomposição da área da seção de concreto original e por fim, propiciar um meio que garanta a manutenção da capa passivadora do aço.

A reconstrução do cobrimento pode ser desempenhada de acordo com alguns requisitos: o concreto projetado em espessura mínima de 50mm, tem boa aderência ao concreto antigo e não requer fôrmas, mas tem a desvantagem de gerar perda de materiais e degradar o ambiente. Adesivos a base epóxi são úteis em unir o concreto antigo com o novo, e tem maior vantagem em relação ao concreto projetado por impermeabilizar definitivamente a armadura, impedindo que se forme a corrosão mesmo que haja a carbonatação superficial.

Concretos e argamassas especiais para grauteamento (aumento de volume) são produtos que não apresentam retração, tem boa aderência, podem ser auto-adensáveis sem que tenha aumento da seção original e é conveniente para reparos em locais de acessos difíceis ou em casos de seções densamente armadas. E por fim, sugere-se a utilização de concretos e argamassas comuns bem proporcionadas, com baixa relação água/cimento e aplicados na fôrma dentro das técnicas construtivas. A desvantagem seria o aumento na seção e um conhecimento maior dos profissionais no local para garantir que a mistura tenha aderência ao concreto antigo. Antes de realizar estes e quaisquer outros métodos para recuperação, deve-se identificar e sanar as causas do problema, para que não exista o risco de corrosão em outros locais, além dos que originalmente existiam, por ocorrência de descontinuidade na estrutura (HELENE, 1986 e HELENE, 1992).

4 METODOLOGIA

Neste capítulo apresenta-se os aspectos de desenvolvimento da pesquisa, envolvendo: a definição da forma de investigação adotada e o desenvolvimento da revisão bibliográfica da pesquisa. Os procedimentos metodológicos gerais adotados consistiram na realização de duas etapas principais:

- a) Método adotado;
- b) Revisão bibliográfica;

4.1 MÉTODO ADOTADO

À frente do que está exposta, a proposta geral de metodologia adotada para o desenvolvimento deste trabalho foi:

- a) Conduzir revisão bibliográfica para melhor entendimento do tema de estudo proposto especificando as peculiaridades de cada peça estrutural a ser estudada e analisada para este Trabalho de Conclusão de Curso;
- b) Levantar imagens, fluxogramas e metodologias de execução de reparos estruturais necessários para a realização do estudo;
- c) Apresentar os resultados e conclusões.

4.1.2 Revisão Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica forneceu conhecimentos que auxiliaram nas análises desenvolvidas e conclusões deste trabalho. Realizou-se estudo sobre os diversos tipos de problemas estruturais ocasionados pela oxidação e corrosão de armaduras, bem como sobre as possibilidades de correção e recuperação das mesmas.

5 PROCEDIMENTO DE RECUPERAÇÃO DE ELEMENTOS.

5.1 INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO

Para verificar se um edifício apresenta algum problema relacionado à manifestações patológicas deve-se realizar uma vistoria cuidadosa e detalhada, para que seja determinada qual a real condição de uso da estrutura. Esta etapa visa avaliar as anomalias existentes, identificando suas causas, providências e a escolha dos melhores métodos a para o reforço ou recuperação da estrutura (SOUZA; RIPPER, 1998).

Figura 05: Deslocamento da viga



Fonte: SÁ E CYBULSKI, (2017)

Figura 06: Trinca na linha da armadura devido à corrosão



Fonte: SÁ E CYBULSKI, (2017)

No caso do pilar, faz-se necessário a execução de escoramentos. A NBR 15696:2009 define escoramento como o uso de estruturas provisórias que auxiliam as estruturas de concretos já existentes, a fim de manter a estabilidade da estrutura. Devendo ser feito um dimensionamento para colocação da quantidade exata de escoras.

Figura 07: Desplacamento da laje



Fonte: SÁ E CYBULSKI, (2017)

Figura 08: deterioração da laje de fundo e paredes do reservatório

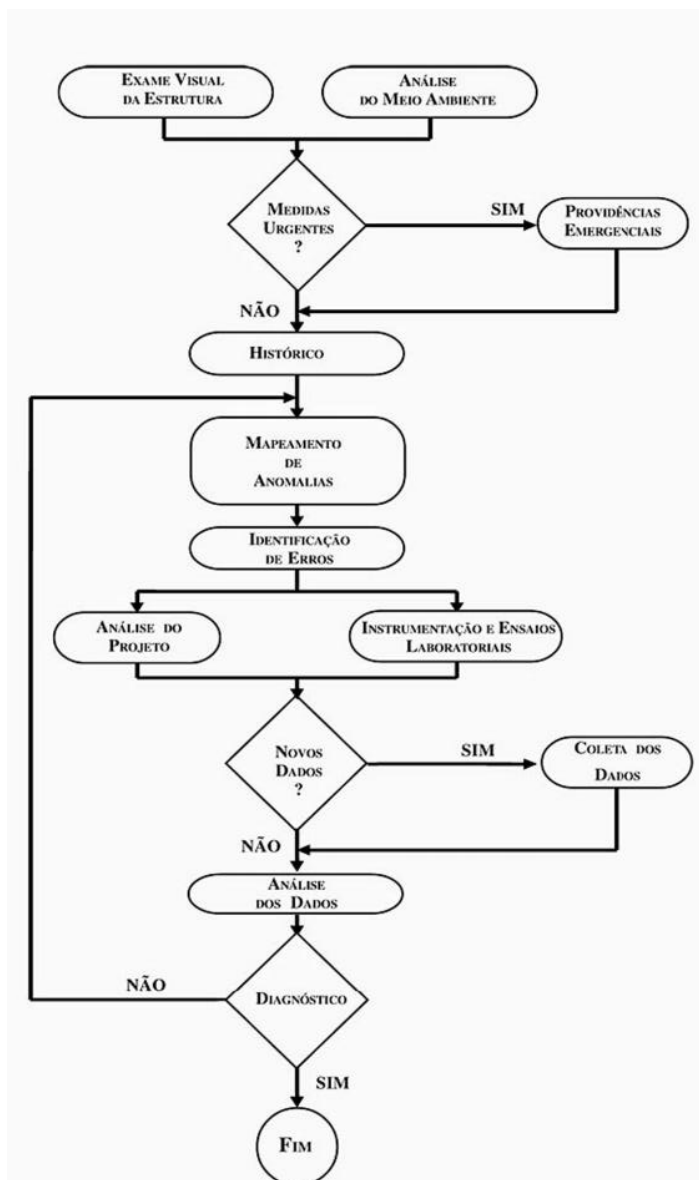


Fonte: SOUZA, RAGONE E RIBEIRO (2012)

Os sinais mais frequentes da presença de corrosão são manchas acastanhadas sobre a superfície de concreto, fissuração, desagregação e eflorescências. Essas manifestações são confirmativas que realmente existe o problema na estrutura, porém em muitos casos a visualização dos focos de corrosão ainda não é possível. Para sua identificação existem

algumas técnicas de avaliação do concreto, como ensaio de migração de cloretos, profundidade de carbonatação, resistividade do concreto, ultrassom, entre outros, além das já referidas técnicas eletroquímicas.

Figura 09: Fluxograma genérico para a diagnose de uma estrutura convencional



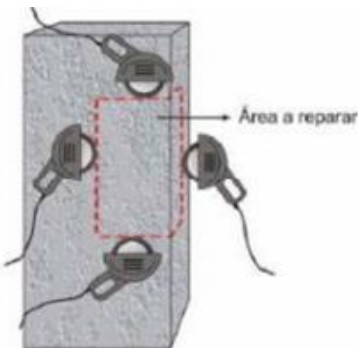
Fonte: RIPPER E SOUZA, (1998)

5.2 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE REPARO

Quando se trata de reparos de estruturas afetadas pela corrosão de armaduras, é necessário que haja o corte do concreto, que serve principalmente para delimitar a área a ser reparada. Deve-se ter muito cuidado para fazer a delimitação correta da linha do corte, para que não comprometa a estabilidade da estrutura, e conseqüentemente não venham a ocorrer danos mais graves.

Segundo Helene (1992), o primeiro passo é fazer a marcação da linha com um giz-estaca onde será o corte, tendo como auxílio um régua para manter a retlinealidade do traçado. Com a serra circular, introduz-se na superfície o disco até uma profundidade que não seja muito grande, normalmente em torno de 50 milímetros. É de suma importância que durante o corte, o profissional tente manter o disco em uma rotação moderada e constante, para que a ação deste seja executada da melhor forma.

Figura 10: Delimitação da área a recuperar



Fonte: ROSSI et al., (2010)

Figura 11: Delimitação da área



Fonte: SILVEIRA, (2009)

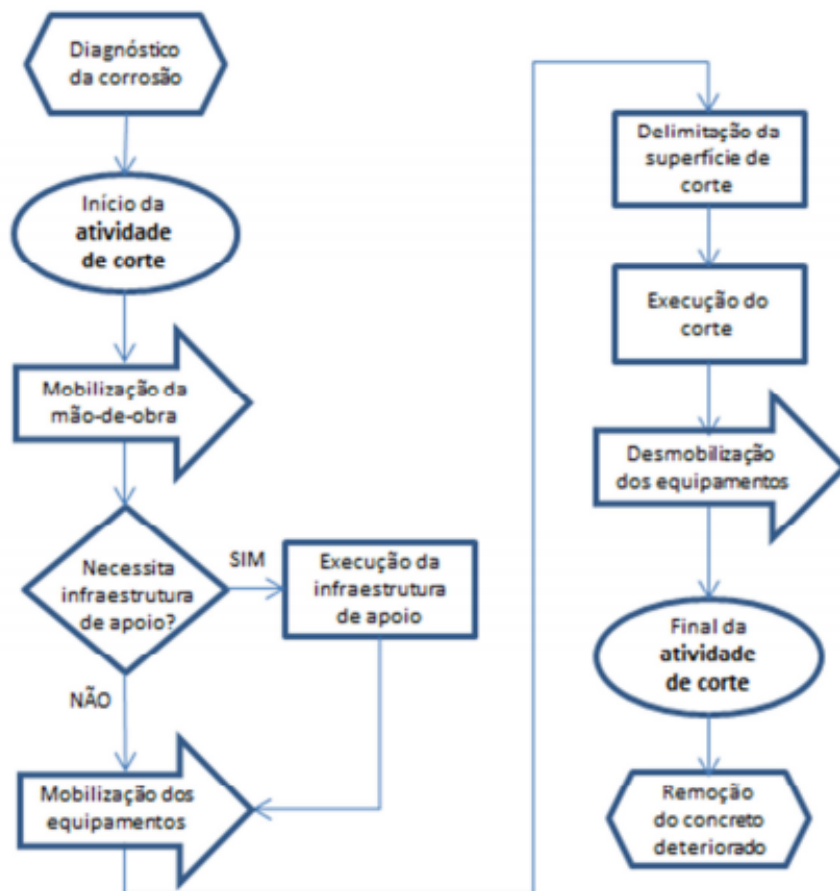
Essa etapa ocorre da mesma maneira para todas as peças estruturais, sempre havendo um estudo prévio a respeito da capacidade de carga da estrutura.

Figura 12: Corte para localização das armaduras corroídas



Fonte: SÁ E CYBULSKI, (2017)

Figura 13: Fluxograma do processo de delimitação do contorno de reparo



Fonte: MARQUES, (2015)

5.3 PREPARO DO SUBSTRATO

“O preparo do substrato é entendido como o conjunto dos procedimentos efetuados antes da limpeza superficial e da aplicação propriamente dita dos materiais e produtos da correção, ou seja, são os tratamentos prévios da superfície dos componentes estruturais.”. (Helene 1992, p. 85)

O processo de remoção do concreto ruim só deve iniciar após a delimitação da área de trabalho. Em seguida, o preparo do substrato se dá pela execução da escarificação, que é conhecida também como apicoamento, nada mais é que o ato de retirar a camada mais externa do concreto das peças estruturais. Estes processos podem ser manuais ou mecânicos e a escolha do processo dependem da profundidade que se deseja alcançar e como deseja-se que a superfície a ser tratada seja mantida para realização de serviços posteriores.

Comumente os processos mecânicos são adotados quando a área a tratar for grande, onde manualmente levaria mais tempo. Já o apicoamento manual é realizado para tratar áreas menores com utilização de ponteira, talhadeira e marreta leve.

Figura 14: Apicoamento mecânico

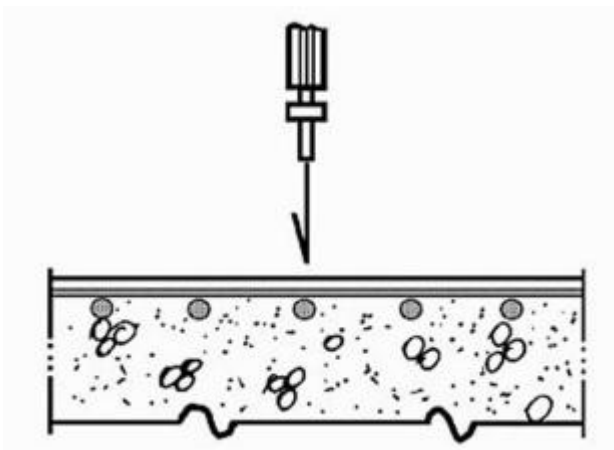
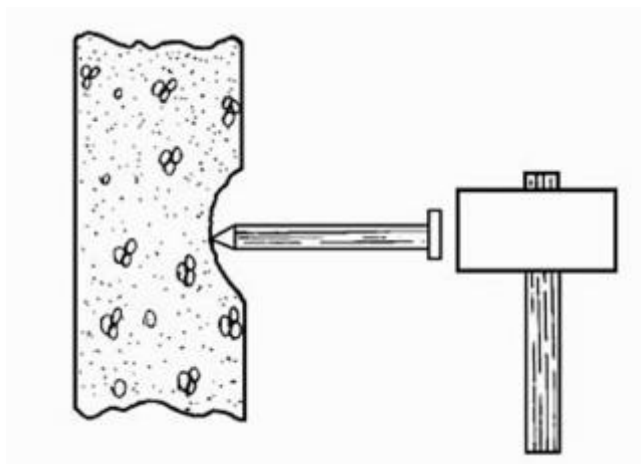


Figura 15: Apicoamento manual



Fonte: RIPPER E SOUZA, (1998)

Fonte: RIPPER E SOUZA, (1998)

Figura 16: Escarificação da viga



Fonte: SÁ E CYBULSKI, (2017)

A figura 16 mostra o operário tratando as armaduras com o martelo rompedor que cria cavidades no concreto para remoção de ferrugem nas armaduras.

Figura 17: Remoção do concreto com o uso de martelo e talhadeira



Fonte: SILVEIRA, (2009)

As figuras 17 e 18 mostra o operário fazendo a escarificação manual com o auxílio de martelo e talhadeira.

Figura 18: Escarificação na Laje



Fonte: SÁ E CYBULSKI, (2017)

5.4 LIMPEZA

O sucesso de uma recuperação ou esforço advém por pelo menos 50% da preparação e limpeza do substrato (HELENE, 1992). Há diferentes maneiras da limpeza das armaduras serem feitas. Os métodos de limpeza podem ser por ação mecânica, ação química, solubilização e detergência.

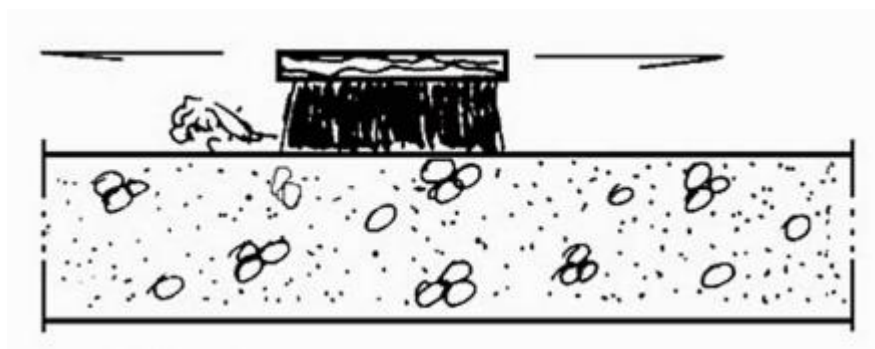
As maneiras mais usuais deste método são por escovação, lixamento ou jateamento de materiais abrasivos. Assim como o apicoamento, a escovação também pode ser manual com o auxílio da escova de aço que é recomendada para pequenas superfícies ou podendo ser também mecânico sendo realizado com auxílio de esmirilhadeira. As lixas ajudam na limpeza principalmente na face interna das armaduras, já que seu acesso é mais difícil. Já o jateamento de materiais abrasivos pode ser executado com materiais minerais, metálicos, sintéticos, e até mesmo orgânicos, sendo o mais comum o uso de areia.

Figura 19: Procedimentos básicos para limpeza dos componentes do concreto armado

Procedimento	Procedimento mais adequado para			
	Concreto com superfície		Aço com superfície	
	Seca	Úmida	Seca	Úmida
Escarificação manual	adequado	adequado	inadequado	inadequado
Escarificação mecânica	adequado	adequado	inadequado	inadequado
Lixamento manual	inadequado	aceitável	adequado	aceitável
Lixamento elétrico	adequado	aceitável	adequado	aceitável
Escovamento manual	adequado	aceitável	adequado	aceitável
Jato de areia seco ou úmido	adequado	adequado	adequado	aceitável

Fonte: HELENE, (1992)

Figura 20: Limpeza com escova de aço



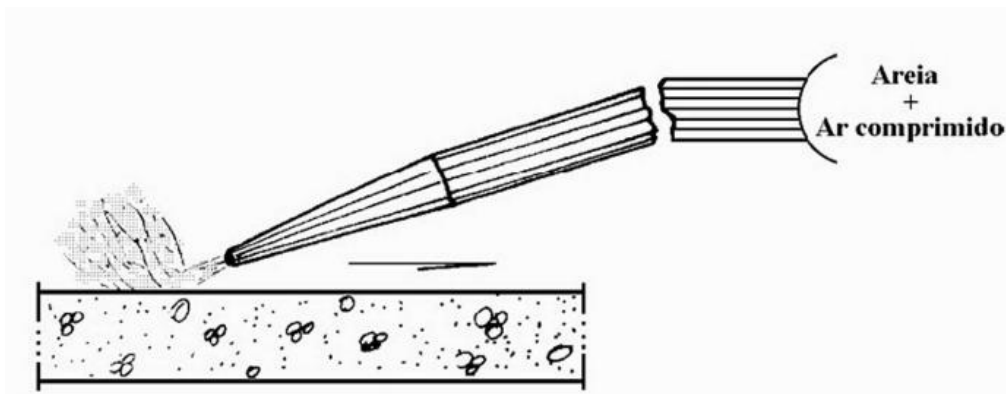
Fonte: RIPPER E SOUZA, (1998)

Figura 21: Remoção de produtos de corrosão com lixadeira elétrica



Fonte: DASHOFER, (2010)

Figura 22: Limpeza de superfícies por aplicação de jatos de areia



Fonte: RIPPER E SOUZA, 1998.

5.5 COMBATE A CORROSÃO

Para se combater a corrosão de uma armadura com grande eficácia e garantir que sua vida útil seja longa, é fundamental a utilização de um concreto que tenha boa qualidade, possua traços adequados e com cobrimento. Contudo, as medidas para combater a corrosão irá depender do ambiente em que a estrutura está inserida, seja este agressivo ou não.

As principais medidas referentes a proteção tanto física quanto química das armaduras são: proteção por técnicas eletroquímicas, revestimento através de depósito a base de zinco, pinturas poliméricas, além de outros. Onde seus objetivos é recuperar a armadura e garantir que o processo de corrosão não volte a acontecer.

A pintura é o principal meio de proteção de componentes metálicos como o zinco, por formar uma película com características protetoras. Esse elemento adicionado ao composto tem a função de atuar como ânodo de sacrifício, beneficiando desta forma, a durabilidade do aço (CASCUDO, 1997).

Figura 23: Proteção da armadura com pintura



Fonte: NAKAMURA; FARIA, (2013)

Figura 24: Aplicação de argamassa polimérica



Fonte: SÁ E CYBULSKI, (2017)

A argamassa é utilizada misturando com água, recomenda-se o uso de misturadores mecânicos de baixa rotação, pois não é permitida a mistura manual ou de pequenas quantidades, segundo o fabricante. O produto normalmente é constituído por cimento Portland, agregados finos e polímero acrílico que quando misturados resultam numa argamassa altamente consistente e de excelente aderência.

5.6 RECOMPOSIÇÃO DA ESTRUTURA

Para a recomposição ou recuperação da estrutura muitos são os materiais que podem ser utilizados nessa etapa, mas o maior destaque vai para os concretos e argamassas, cada um com suas peculiaridades, onde a sua aplicação pode ser realizado de diferentes maneiras. As fôrmas também são quase que indispensáveis para esta atividade, podendo ser feita de madeira, aço, entre outros. Outro fator que garante a qualidade da recuperação da estrutura é o cobrimento da armadura, pois quanto maior sua espessura, maior será sua proteção.

Comumente utiliza-se o graute como material de fácil aplicação, pois ele possui varias propriedades positivas, uma delas é possuir sua consistência fluida dispensando o adensamento com o uso de vibrador, o mesmo possui alta resistência inicial e final em um curto período de tempo liberando assim rapidamente as fôrmas e a estrutura. Além disso, assegura maior proteção contra os efeitos da corrosão, por possuir baixa permeabilidade. Na obra, deve-se misturar água ao graute segundo as quantidades especificadas pelo fabricante do material. (LUNLA, 2017)

Figura 25: Fôrma fixada com parabol



Fonte: SÁ E CYBULSKI, (2017)

Figura 26: Viga Grauteada



Fonte: SÁ E CYBULSKI, (2017)

Figura 27: Encamisamento do pilar



Fonte: SÁ E CYBULSKI, (2017)

O encamisamento do pilar é a técnica de reforço na qual o pilar é todo preenchido com concreto, para alguns autores essa técnica se trata do aumento da seção transversal, devido a ampliação da geometria do pilar. Segundo Piancasteli (2005), a aderência entre o concreto velho e novo se deve pela própria compressão gerada, devido a retração transversal do novo concreto de reforço, causando uma pressão lateral no pilar original. A concretagem deve ser feita em partes, a cada metro de altura, de baixo para cima. (RIPPER E SOUZA, 1998)

5.7 PROTEÇÃO DA SUPERFÍCIE DE CONCRETO

Logo após a execução de todas as etapas anteriores referentes à recuperação de estruturas afetadas por corrosão de armaduras, chega o momento da finalização. Essa etapa nada mais é do que proteger todo o elemento estrutural para não haver a penetração dos agentes que promovem a corrosão da armadura, seja por meio de oxigênio, água, íons cloreto

entre outros. Há vários materiais que possui essa finalidade, como as tintas orgânicas, concreto de alta densidade, argamassa polimérica e materiais cerâmicos. (RIBEIRO, 2014)

Caso haja algumas falhas e furos depois do processo de grauteamento, os mesmos são corrigidos e nivelados mediante a aplicação de argamassa polimérica. Por fim, com todos os serviços de tratamento totalmente concluído, a estrutura recuperada recebe os acabamentos de massa corrida e pintura.

Figura 28: Reparo concluído



Fonte: SÁ E CYBULSKI, (2017)

Figura 29: Laje recuperada



Fonte: SÁ E CYBULSKI, 2017

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou um estudo a cerca de quatro peças estruturais de concreto armado submetidas à corrosão. Para isto, houve a necessidade detalhar peça por peça com a finalidade de diagnosticar as causas, os sintomas para melhor determinar o tipo de tratamento mais adequado. Em cada peça estrutural foram descritas as etapas para fazer a recuperação ou reforço estrutural de cada patologia identificada. As etapas são:

- a) inspeção preliminar;
- b) inspeção detalhada;
- c) delimitação do contorno de reparo;
- d) remoção do material deteriorado;
- e) limpeza
- f) revestimento da armadura
- g) recomposição da estrutura
- h) revestimento da superfície de concreto

Constata-se que ao certificar que uma estrutura que evidencia a solicitação visível de reparo, é essencial uma intervenção de qualidade e maneira correta e não um tratamento superficial que melhora apenas a parte estética. Constatou-se também que o tempo entre o início do processo de degradação da estrutura e a intervenção corretiva da mesma é de suma importância, pois quanto maior for tempo de espera para intervenção mais complicado será o processo de recuperação já que as patologias se manifestam muito rápido, principalmente em ambientes ainda não afetados.

Os fatores primordiais na qualidade final que se pretende obter, tanto em nível estético quanto na aderência dos materiais existentes, advêm da escolha correta da intervenção a adotar, em função do problema apresentado ou do tipo de trabalho que se pretende realizar, assim como a aprimorada execução da tarefa. Faz-se necessário eliminar os pontos fracos da superfície antes da aplicação de um novo material, deixando somente materiais de resistência elevada, compactos e isentos de saliências prejudiciais à superfície existente. É fundamental que os danos sejam reduzidos ao mínimo possível, visto que a estrutura deverá voltar a funcionar monoliticamente, ou seja, se comportar como um único conjunto rígido.

Percebe-se por meio deste trabalho que os problemas de corrosão podem surgir em diferentes regiões ou locais de uma edificação de forma semelhante. O ideal seria que as estruturas jamais alcançassem o estado em que se viu as mesmas neste trabalho, para isto deve-se pensar no conjunto integralizado das fases de planejamento, projeto, construção, utilização e manutenção preventiva evitando assim as manutenções corretivas.

Conclui-se assim, que os objetivos propostos foram atendidos tendo em vista que em todas as situações foi possível analisar os procedimentos de reparos com amplo detalhamento dos processos executados e materiais utilizados que possibilitaram a efetiva recuperação e posterior utilização das estruturas.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para futuros trabalhos acadêmicos a realização de ensaios específicos que possibilitem maiores aprofundamentos na identificação das causas que ocasionam corrosão das armaduras e afetam estruturas de concreto armado e também levantamento de custos de forma a compara-los nas diferentes situações.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Erika Bressan Botelho de. **Principais Manifestações Patológicas Encontradas em Edificação**: Manifestação patológica, Principais patologias nas edificações e as Medidas de profilaxia para se evitar futuras patologias.

ANDRADE, M. C., **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**, Ed. Pini, São Paulo, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT NBR 15696:2009 **Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto — Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos**, Rio de Janeiro, 2009.

BAKKER, R.F.M. **Corrosion of steel in concrete**. London, Chapman and Hall, 1988. cap.3, p.22-55..

BASTOS, P. S. S. **Lajes de Concreto**. Universidade estadual Paulista. São Paulo, 2015.

CABRAL, A.E.B; CAMPOS, A.M.R. **Estudo da Agressividade do Ar em Fortaleza**. Ceará, 2016.

CÁNOVAS, F.M. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: PINI, 1988.

CAPELLO, A. *et al.* **Patologia das fundações**. 2010. 115f. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) - Faculdade Anhanguera de Jundiá, Jundiá, 2010. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/54137409/PATOLOGIA-DE-FUNDACOES-TCC>>. Acesso em: 05 mar. 2020

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto**: Inspeção e técnicas eletroquímicas. São Paulo: PINI, 1997.

FELIU, S. **Manual inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras**. Madrid, Instituto Eduardo Torroja, 1988.

FRANCO, A.P.G. **Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido ao ataque de íons cloreto**. Caruaru: FAVIP, 2011. 42p. Trabalho de conclusão de curso, engenharia civil, Faculdade Vale do Ipojuca.

GENTIL, V. **Corrosão**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

HELENE, P.R.L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: PINI, 1986.

HELENE, P.R.L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1992.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Corrosão em construção civil**. Brasil. Disponível em: <http://www.ipt.br/solucoes/272-corrosao_em_construcao_civil.htm>. Acesso em: 05 mar. 2020.

JÚNIOR, C. C. S. **Técnicas de recuperação de estruturas de concreto armado sob efeito da corrosão das armaduras**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica da Universidade Federal de Minas Gerais. 2008

LUNLA, Ball. **Graute: vantagens, tipos e aplicações**. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/graute-vantagens-tipos-e-aplicacoes/>>. Acesso em : 10 nov 2020.

MARQUES. V. S. **Recuperação de estruturas submetidas à corrosão de armaduras: definição das variáveis que interferem no custo**. Universidade federal do rio grande do sul. Porto alegre, 2015.

NAKAMURA, J; FARIAS, R. **Intervenções corretivas estendem a vida útil das estruturas de concreto armado: Conheça produtos e técnicas para recuperação estrutural**. Técnica: São Paulo, 2013. Edição 201. Disponível em: < <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/201/artigo302536-1.aspx>>. Acesso em: 10 nov 2020.

PANOSSIAN, Z. **Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo**. Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas : manual. São Paulo: IPT, 1993.

PIANCASTELLI, E. M. **Patologia e terapia das estruturas: Reforço com concreto**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. Disponível em: <DEMC | Departamento de Engenharia de Materiais e Construção (ufmg.br)>. Acesso em: 12 nov 2020.

RAGONE, A.A., Araujo, A.E.P., Alexandre, I.F., Souza, M.I., Pereira, V.C.N. (1998) **“Recuperação estrutural do Castelo D'água do Mequinho”**, Trabalho Final de Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto, Universidade Federal Fluminense, Niteroi, 33 p

RIBEIRO, D. V. (Coord.); SALES, A.; SOUSA, C. A. C. de; ALMEIDA, F. do C. R.; CUNHA, M. P. T.; LOURENÇO, M. Z., HELENE, P. **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

RIPPER, Thomaz; SOUZA, Vicente Custódio Moreira; **Patologia, Recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 5. ed. São Paulo: Pini, 1998.

ROCHA, CARLA. **Diferenças entre os elementos estruturais: laje, pilar e viga**. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/elementos-estruturais/>>. Acesso em: 05 nov 2020.

SÁ, A. S.; CYBULSKI, G. B. **Reparos em estruturas de concreto armado devido a corrosão de armadura**. Palhoça, Universidade do Sul de Santa Catarina, 2017.

SILVA, F. A. S; **Avaliação Do Teor De Íons Cloreto No Ar Atmosférico Da Praia Do Futuro Em Fortaleza/Ce**. Ceará, 2011.

SOUSA, V. C. M.; RAGONE, A. A.; RIBEIRO, M. I. **Inspeção e recuperação estrutural de um reservatório d'água**. Rio de Janeiro, 2012.

TINOCO, H. F. F.; MORAIS, A. S. **Inspeção e recuperação estrutural de um reservatório d'água.** Cimpar, João Pessoa, 2013.

TORRES, A. S.; SILVA, V. M .B.; PALIGA, C, M,; **Análise das manifestações patológicas em reservatórios elevados na cidade de pelotas/rs.** Pelotas, 2016.

TUUTI, K. **Corrosion of steel in concrete.** Stockholm, Swedish Cement and Concrete. Research Institute, 1982.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Faculdade Art de Sá
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L732m Lima, Ivana.
MANUAL DE BOAS PRÁTICAS PARA RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL EM PEÇAS
SUBMETIDAS À CORROSÃO / Ivana Lima. – 2020.
45 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade Art de Sá, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2020.
Orientação: Prof. Me. Leonardo Tavares de Souza.
Coorientação: Prof. Me. Ésto Magalhães Feltosa Lima..

1. Estruturas. 2. Peças estruturais. 3. Corrosão. I. Título.

CDD 620
